

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année Scolaire 1929 - 1930 - N° 32

INFLUENCE
DU
VOL EN AVION
AUX GRANDES ALTITUDES
SUR
LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTE de MEDECINE et de PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 18 Novembre 1929

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MEDECINE

PAR

Roger GUYONNET

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

né le 19 Avril 1904, à Nexon (Haute-Vienne)



IMPRIMERIE INTERSYNDICALE
LYONNAISE

46, Rue de l'Université, 46

Tél. : Vaudrey 32-55

LYON

1929

Faculté de Lyon

INFLUENCE
DU
VOL EN AVION
AUX GRANDES ALTITUDES
SUR
LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année Scolaire 1929 - 1930 — N° 32

INFLUENCE
DU
VOL EN AVION
AUX GRANDES ALTITUDES
SUR
LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTE de MEDECINE et de PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 18 Novembre 1929

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MEDECINE

PAR

Roger GUYONNET

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

né le 19 Avril 1904, à Nexon (Haute-Vienne)



IMPRIMERIE INTERSYNDICALE
LYONNAISE

46, Rue de l'Université, 46
Tél. : Vaudrey 32-55
LYON

—
1929

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. L. HUGOUNENQ.
Doyen	M. J. LEPINE.
Assesseur	M. ROLLET.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, ROQUE, BARD, LANNOIS

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. PIC.
Cliniques chirurgicales.	PAVIOT
Clinique obstétricale et Accouchements	TIXIER
Clinique ophtalmologique.	BERARD
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	VORON
Clinique neurologique et psychiatrique.....	ROLLET
Clinique des maladies des enfants	NICOLA'S
Clinique des maladies des femmes	LEPINE (J.)
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	MOURIQUAND.
Clinique des maladies des voies urinaires.....	VILLARD
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie	COLLET
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	ROCHET
Chimie biologique et médicale	NOVE-JOSSERAN
Chimie organique et Toxicologie	CLUZET
Matière médicale et Botanique	HUGOUNENQ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	MOREL
Anatomie	BRETIN
Histologie	GUIART
Physiologie	LATARJET
Pathologie interne	POLICARD
Pathologie et Thérapeutiques générales	DOYON
Anatomie pathologique	FROMENT
Chirurgie opératoire	CADE
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie	FAVRE
Médecine légale	PATEL
Hygiène	ARLOING (F.)
Thérapeutique	Etienne MARTIN
Pharmacie	COURMONT (P.)
Hydrologie thérapeutique et climatologie	SAVY
	LEULIER
	PIERY

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe	MM. VALLAS
— — Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN
— — Chimie minérale	BARRAL
— — Urologie	GAYET

CHARGES DE COURS COMPLEMENTAIRES

Anatomie topographique	MM. THEVENOT (Léon)
Puériculture et hygiène de la première enfance	RHENTER
Chirurgie expérimentale	TAVERNIER
Applications du radium	NOGIER
Stomatologie	TELLIER

AGREGES

MM.	MM.	MM.	MM.
GARIN	MAZEL	CHEVALLIER	MARTIN (J.)
TRILLAT	SANTY	DUMAS	ROCHET (Ph.)
SARVONAT	DUNET	DUFOURT	WERTHEIMER
FLORENCE (G.)	CHALIER (A.)	DEVIC	GATÉ
ROCHAIX	CHALIER (J.)	GABRIELLE	BERNHEIM
RHENTER	NOEL	MANCEAU	DECHAUME
			POLLOSSON

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE :

M. PIERY, Président ; M. CHEVALLIER, Assesseur ;

MM. WERTHEIMER et BERNHEIM, Agrégés

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans
dissertations qui sont présentées doivent être considérées comme propres
leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.



A MON PERE ET A MA MERE

Témoignage de grande affection
et de vive reconnaissance.

A MON FRERE

Très affectueusement.

MEIS ET AMICIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PIERY

*Professeur d'Hydrologie Thérapeutique et de Climatologie
à la Faculté de Médecine de Lyon
Chevalier de la Légion d'honneur*

A qui je dois l'inspiration et les
moyens de réalisation de ce travail
et qui m'a fait le grand honneur
d'accepter la présidence du Jury
de thèse.

Hommage de vive et très respec-
tueuse gratitude.

A MONSIEUR LE DOCTEUR MILHAUD

Qui a guidé ces travaux ; je l'en
remercie et le prie de croire à ma
reconnaissance.

A MES JUGES

A MES MAITRES
DES FACULTÉS DE MÉDECINE DE PARIS ET DE LYON
ET DE
L'ÉCOLE DU SERVICE DE SANTÉ MILITAIRE

A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL INSPECTEUR LANNE

*Directeur de l'École du Service de Santé Militaire,
Commandeur de la Légion d'Honneur.*

Il a bien voulu nous accorder l'autorisation d'effectuer les ascensions en avion que nécessitait ce travail.

HOMMAGE RESPECTUEUX

AVANT-PROPOS

Au moment où l'aviation doit prendre une place chaque jour plus grande pour s'adapter aux besoins des temps présents, la nouveauté attrayante d'observations relatives à la physiologie de l'aviateur devait naturellement nous tenter.

M. le Professeur Piéry a bien voulu nous inspirer le sujet de cette thèse et orienter nos recherches. Avec sa compétence indiscutée pour tout ce qui touche à la santé de l'aviateur, il nous a montré l'intérêt que présentaient des travaux dont les résultats devaient être probablement différents de ceux obtenus au cours d'expériences en caisson pneumatique, au cours d'ascensions en montagne ou même en ballon : en avion, l'observateur n'est en effet que sous l'influence d'un seul facteur et de son corollaire, à savoir :

— la variation de pression, qui peut être de l'ordre de 40 millimètres de Hg en une minute, l'avion tenant couramment l'air à 200 kilomètres à l'heure.

— la variation de température, due à la détente adiabatique des gaz de l'atmosphère, et qui pour n'en citer qu'un exemple s'est traduit par une différence de 40° en 50 minutes, lors d'une de nos observations.

C'est un devoir agréable pour nous d'assurer ici de notre respectueux dévouement et de notre reconnaissance M. le Colonel Benoist, Commandant le 35^e Régiment d'aviation. Il nous a permis la réalisation de ce

travail en mettant un appareil Bréguet à notre entière disposition, et nous a toujours accueilli avec une inlassable et très grande bienveillance dont nous lui gardons une profonde gratitude.

Nos remerciements s'adressent aussi à M. le Docteur Milhaud qui n'a cessé de nous guider de ses précieux conseils.

Ils vont enfin aux pilotes de la 11^e Escadrille du 35^e R. A. de Bron. Par leur cordialité traditionnelle et par l'attrait sportif qu'ils surent donner à notre tâche, ils nous l'ont rendue à la fois facile et agréable.

INTRODUCTION

« L'aviation impose à l'organisme humain une adaptation rapide à des conditions d'existence anormales et variables », écrit le Docteur J. Beyne.

Cet effort de l'organisme, pour s'adapter du mieux qu'il peut aux conditions nouvelles d'existence créées par la diminution de pression, se manifeste par des réactions dont quelques-unes seulement ont fait l'objet d'études antérieures.

Le but de notre travail sera de rechercher les modifications apportées dans les échanges respiratoires par la diminution de pression au cours de montées effectuées en avion.

Nous exposerons successivement :

1° Les recherches antérieures sur le débit et les échanges respiratoires en fonction des variations de la pression atmosphérique ;

2° Les variations atmosphériques avec l'accroissement de l'altitude ;

3° Nos appareils et notre méthode d'observation pour l'analyse des échanges respiratoires en avion ;

4° Nos observations, suivies de leur analyse ;

5° Les conséquences pratiques qui découlent de ces observations ;

6° Nos Conclusions.



PREMIÈRE PARTIE

Recherches antérieures sur le débit et les échanges respiratoires en fonction des variations de la pression atmosphérique

Nous n'avons trouvé aucune relation sur les échanges respiratoires au cours d'ascension en *avion*.

Cependant,

Paul Bert a étudié les variations de la pression atmosphérique ;

Des recherches relatives à l'influence de la variation de pression sur l'appareil circulatoire ont été faites :

Par Garsaux, Ferry, Mathieu de Fossey, en utilisant le caisson à dépression atmosphérique de l'institut Aérotechnique de Saint-Cyr ;

Par Beyne, Ferry, Villemin, Tara, en se servant d'avions de guerre.

En 1921-1922, M. le Professeur Piéry étudie :

Avec Paillier, les variations de l'urée sanguine au cours d'ascensions en avion.

Avec Michel, les variations du débit respiratoire *réel* au cours d'ascensions en avion et en montagne.

Reprenant les résultats de Michel, et à la suite d'ob-

servations personnelles, Beyne détermine la courbe du débit respiratoire *apparent*.

Déjà, dès 1900, l'Aéro-Club de France avait organisé dans un but scientifique des ascensions en ballon.

C'est ainsi que : de Crouzon et Soubies, de Lépique, et surtout Hallion et Tissot, ont tenté la réalisation de recherches sur les modifications des échanges respiratoires sous l'influence de la diminution de pression.

Les deux derniers auteurs ont obtenu les résultats suivants, au cours d'expériences en chambre pneumatique et au cours d'une ascension en ballon à 3.700 mètres :

1° la *décompression ne diminue pas la valeur du coefficient respiratoire* du sujet au repos ; l'intensité absolue des échanges respiratoires reste sensiblement la même, quelle que soit la pression extérieure, jusqu'à une décompression de 28 centimètres de Hg.

2° Le débit respiratoire *apparent* n'augmente pas.

3° Le débit respiratoire *réel* diminue comme la pression et suit une courbe analogue à celle de la variation de pression.

4° Comme le débit apparent ne varie pas et que la pression diminue, la tension de l'oxygène diminue progressivement dans l'air inspiré. Les augmentations progressives des altérations de l'air expiré à mesure que la pression diminue, jointes à la fixité du débit respiratoire apparent, montrent que cette diminution de tension n'a aucun effet sur la valeur absolue des échanges. Le sang a encore plus d'oxygène qu'il ne lui en faut,

5° *La quantité totale de l'acide carbonique exhalé varie pas, ou peu.*

6° ... Il n'y a modification dans les mouvements respiratoires qu'à partir du moment où la proportion d'oxygène dans l'air respiré tombe au-dessous de 11 %, ce qui se produit quand l'altitude atteint 5.000 mètres.

... A cette altitude « *l'acide carbonique qui s'exhale est notablement augmenté et le quotient respiratoire*

CO²

———— s'accroît »,

O

DEUXIÈME PARTIE

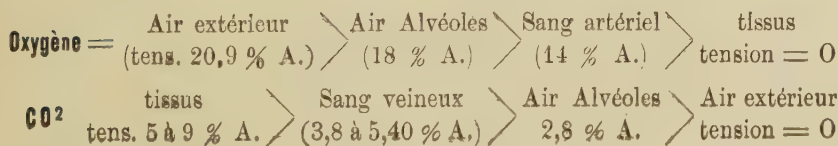
Les variations atmosphériques avec l'accroissement de l'altitude

D'après la loi de décroissance logarithmique des pressions de Laplace, d'importantes modifications apparaissent, avec l'augmentation de l'altitude, dans la tension des éléments gazeux qui composent l'air atmosphérique.

Tandis qu'au sol, d'après le Docteur G. Ferry, la composition de l'air normal est la suivante :

(pour %, à 0° et 760 $\frac{m}{m}$ de Hg)	
Azote	78,03
Oxygène	20,99
Argon	0,94
Hydrogène	0,01
Néon	0,0015
Hélium	0,00015
Crypton	0,00010
Gaz carbonique	3/10.000
Vapeurs H ² O	de 1/1.000 à 1/80

et le schéma du cycle normal des échanges respiratoires :



on observera, parallèlement à la diminution de pression, les variations suivantes :

Azote : varie peu, tout au moins dans la zone accessible à l'homme, car à une altitude de 100 kilomètres il semble ne plus exister. Ses variations sont d'ailleurs sans importance : il n'a pour fonction que de diluer l'oxygène.

Oxygène : Sa proportion est sensiblement constante avec la hauteur. Mais, du fait de la diminution de pression et de la loi de Mariotte, résulte une diminution de la quantité absolue d'oxygène, pour un même volume d'air. Cette quantité est réduite de :

1/4 à 2.000 mètres ; 1/2 à 5.000 mètres.

Aux différentes altitudes, la tension de l'oxygène est la suivante : (à 0°, 760 $\frac{m}{m}$ et %)

Niveau de la mer	.....	760 $\frac{m}{m}$ Hg	.....	20,99 %
		(0° et 760)		
2.500	.....	560	.....	15,4
3.000	.....	522,1	.....	14,09
4.000	.....	460,7	.....	12,43
5.100	.....	401,1	.....	10,82
6.000	.....	340	.....	9,3

Gaz carbonique : Les variations avec l'altitude ont donné lieu à des observations qui ne concordent pas.

Pour J. Tissandier, la quantité de CO_2 augmenterait avec l'altitude ; elle serait de :

2,4/10.000 à 890 mètres ; 3/10.000 à 1.000 mètres.

Pour Truchot, au contraire, elle diminuerait :

3,13/10.000 à 359 mètres avec $t^\circ = 25^\circ$

2,03/10.000 à 1.446 — — = 21°

1,72/10.000 à 1.884 — — = 6°

Pour notre part, lors de notre montée effectuée le 1^{er} juillet à 5.100 mètres, par mauvais temps et au dessus d'une mer de cumulus, nous avons constaté une augmentation de CO_2 très forte :

1,3 % à 5.100 mètres avec $t^\circ = -12^\circ$.

Par contre, lors d'autres ascensions entre 3.000 et 4.000 mètres, nous n'avons pas trouvé de gaz carbonique :

« L'action de la sécheresse, de la luminosité de l'air, des radiations solaires plus intenses, (facteurs physiques capables de faire diminuer la teneur du CO_2 dans l'air atmosphérique), peuvent expliquer ces différences », écrit le Docteur J. Ferry.

Ozone : Notons encore la présence d'ozone dont la teneur pour la basse atmosphère est d'environ 8 millimètres cubes par mètre cube d'air. Cette teneur doit aller en augmentant avec l'altitude. En effet : la lumière solaire émet autant de rayons U. V. que les lampes en quartz à vapeurs de Hg. Si ces rayons n'étaient pas absorbés sur leur chemin, nos organismes seraient détruits. Or, le Professeur Fabry a montré qu'il suffirait d'une couche de 6 millimètres d'épaisseur d'ozone pour arrêter tous ces rayons U.V., soit une teneur en ozone de 0,5 cc³ par m³ d'air. Elle n'est que de 0,08 cc³. L'ozone doit donc augmenter avec l'altitude.

Variation de température :

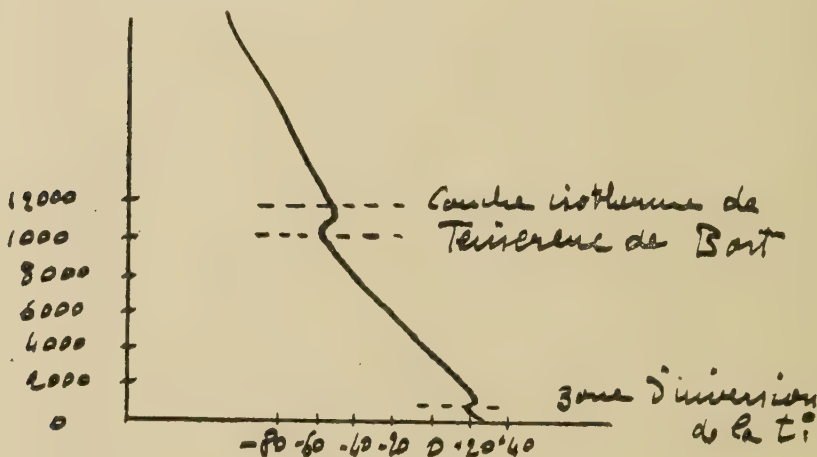
C'est une variation ayant aussi pour cause la diminution de pression. Elle est la conséquence

de la détente adiabatique des gaz de l'atmosphère, lesquels n'absorbent pas l'énergie calorifique des rayons solaires.

Le gradient thermique, variation de la température pour 100 mètres, est le suivant :

- 1° pour un air très sec,
- 0°5 pour un air saturé d'humidité,
- 0°8 au-delà de 3.500 mètres.

Le graphique ci-dessous montre l'allure de la courbe des variations de la température.



Deux particularités :

1° La zone d'inversion qui se trouve vers 1.500 mètres dans laquelle la température, au lieu de diminuer, augmente (surtout la nuit) ; la cause en est dans le refroidissement plus rapide des couches d'air les plus directement en rapport avec la terre.

2° La couche isotherme de Teisserenc de Bort, vers 11.000 à 12.000 mètres, caractérisée par une augmentation de la température.

Notons enfin qu'à la suite d'explorations de l'atmosphère

phère par des ballons sondes — ceux du Prince de Monaco, celui du Professeur Gamba, de l'Observatoire de Padoue qui atteignit la hauteur de 37.700 mètres ($2 \frac{m}{m}$ de Hg) et marqua une température de -51° —, Teisserenc de Bort reconnut 3 zones :

La première, appelée *zone de perturbation*, va jusqu'à 3.000 à 4.000 mètres ; elle est le siège de grandes variations barométriques qui déterminent la circulation des vents inférieurs. Aussi, l'air y étant constamment brassé a-t-il une composition constante et « c'est seulement dans cette zone que cette constante de la composition de l'air pourra être observée » (M. Berget, Docteur ès-sciences, président de la Société Française de navigation aérienne).

La deuxième zone, qui va de 3.500 à 11.000 mètres, est à peu près calme.

Première et deuxième zone forment la troposphère.

La troisième zone, au-delà de 12.000 mètres, est la stratosphère. Ses caractères sont :

Aucun nuage,

Aucune trace de vapeur d'eau,

Des gaz raréfiés à l'état de calme, et en couches de densité décroissante. (C'est ce que confirmèrent les éruptions du Krakatoa et du Kitmaï dont les cendres volcaniques s'élevaient verticalement à travers la troposphère pour s'étaler ensuite en nappes horizontales, dès leur entrée dans la stratosphère.)

Tels sont, aux hautes altitudes, en ce qui concerne les échanges respiratoires, les obstacles que l'aviateur devra vaincre, difficultés particulières à l'atmosphère d'une part, à l'avion d'autre part.



TROISIÈME PARTIE

Nos appareils et notre méthode d'observation

A. — LES APPAREILS

- 1° L'appareil avec spiromètre et thermomètre pour prises de l'air exhalé ;
- 2° Le masque à gaz ;
- 3° L'appareil pour transport de l'air recueilli ;
- 4° L'eudiomètre simple de Laulanié pour son analyse.

1° --- L'appareil que nous emportions en avion, pour étudier nos échanges respiratoires, était contenu dans une sorte de cadre en bois et reposait sur une planche fixée au-dessus des commandes en double de l'avion.

Il se compose :

a) d'un flacon à trois ouvertures permettant d'envoyer l'air exhalé soit dans l'air extérieur, soit dans le spiromètre, soit enfin dans les deux ballons en baudruche ;

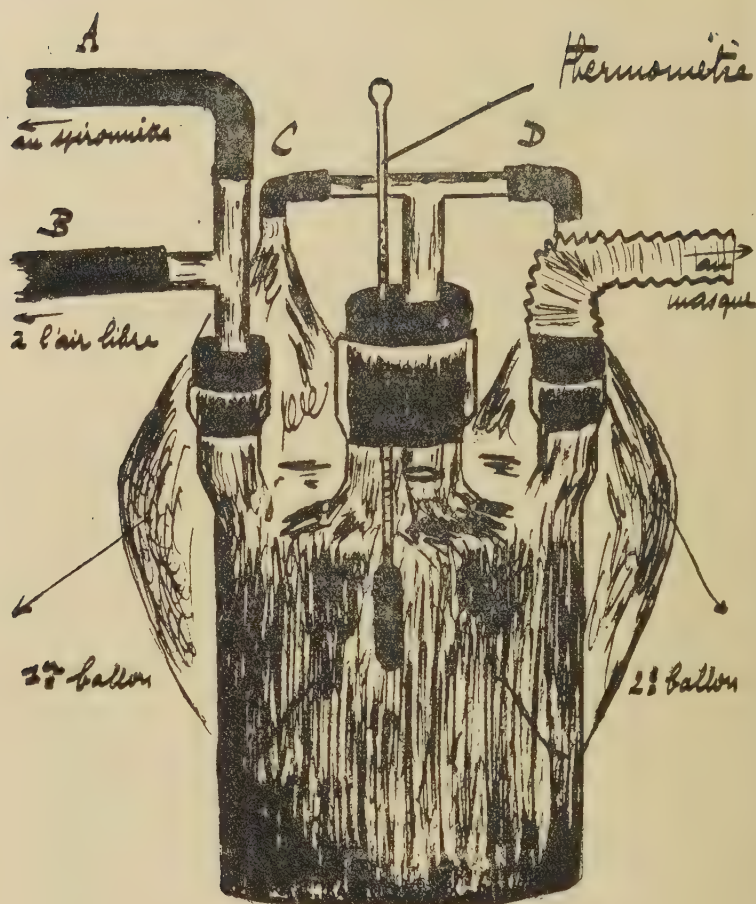
b) d'un spiromètre ;

c) d'un thermomètre pour mesurer la température de l'air exhalé ;

d) d'un thermomètre à minima spécialement construit pour les basses températures ;

e) de deux ballons en baudruche ;

f) de 4 pinces hémostatiques.



*Cliché du flacon à trois ouvertures de notre appareil
pour prises d'air exhalé.*

- 1^{er} temps de l'expérience : A est fermé, B est ouvert, nous respirons ainsi quelques minutes dans l'appareil.
- 2^e temps : B est fermé, A est ouvert, l'air a été expulsé des 2 ballons en les aplatisant.
- 3^e temps : Nous respirons quelques minutes.
- 4^e temps : C et D sont fermés, l'un quelques minutes après le début de l'expérience, l'autre seulement à la fin.
- 5^e temps : L'air des ballons est recueilli dans les tubes en verre.

Nous emportions encore avec nous les deux tubes en verre, à double robinets, de notre appareil pour le transport de l'air recueilli.

2° — Le masque employé était le masque A. R. S. très minutieusement vérifié ; nous l'adaption hermétiquement à notre tête à l'aide d'un bourrelet de coton hydrophile et du passe-montagne, lorsque nous arrivions à l'altitude désirée.

3° — Nous avons été obligés de simplifier notre appareil pour le transport de l'air à analyser, la place de l'observateur n'étant pas assez grande dans le Bréguet 19. Primitivement composé d'une cuve à eau permettant de faire le vide dans deux tubes en verre, à double robinets (le robinet supérieur réglant la communication avec le ballon en baudruche contenant l'air recueilli) nous l'avons réduit à ses deux tubes remplis d'eau distillée. Immédiatement après l'expérience, à l'altitude même, nous adaptions le ballon en caoutchouc sur la tubulure supérieure du tube ; nous ouvrons ensuite : d'abord le robinet lui correspondant, puis le robinet inférieur permettant à l'eau distillée de s'échapper, appelant ainsi du ballon dans le tube l'air exhalé. Nous fermions ce robinet au moment précis où l'eau achevait de s'écouler.

4° — Nos analyses étaient faites aussitôt après avec l'eudiomètre simple de Laulanié.

B. — NOTRE METHODE D'OBSERVATION

Pour que nos observations soient d'une exactitude aussi grande que possible nous nous sommes efforcés, au cours de ces expériences, de toujours tenir compte des remarques faites respectivement par W. Edwards, les américains A. Grollman et E. K. Marshall et par le Professeur Doyon, à savoir :

1° La respiration n'étant pas une oxydation directe, le CO^2 qui sort dans une expiration ne correspond pas à l' O^2 de l'inspiration précédente.

2° Un certain temps est nécessaire pour qu'il y ait équilibre entre l'air alvéolaire et le contenu gazeux d'un ballon.

3° La constante dans le régime alimentaire entraîne celle du quotient respiratoire.

En effet, d'après le Professeur Doyon, « le rapport du CO^2 exhalé à l'oxygène absorbé dépend de la nature ainsi que de la quantité relative des corps qui sont combinés dans l'organisme dans l'instant considéré, de telle sorte que :

$$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{\text{CO}^2 \text{ alb.} + \text{CO}^2 \text{ graisses} + \text{CO}^2 \text{ HC}}{\text{O alb.} + \text{O graisses} + \text{O HC}}$$

ou l'un des 3 s'il est nettement en plus grande quantité.

Et les quotients théoriques des trois sortes de corps combustibles étant :

Pour les Hydrates de carbone	1,00
-- Albuminoïdes	0,80
--- Graisses	0,70

on voit que : « toutes les fois que les hydrates de carbone tendront à prédominer dans les combustions organiques, le quotient respiratoire tendra lui-même vers l'unité ».

D'où, première condition d'exactitude, la nécessité d'un régime alimentaire constant pendant la durée de nos expériences.

En outre, W. Edwards, plongeant une grenouille dans une atmosphère confinée d'Azote et le CO^2 continuant à être rejeté par cet animal assez longtemps après la disparition complète de l'O, a montré que l'oxygène absorbé s'engage dans des réactions successives échelonnées pour ne reparaitre dans le poumon, en CO^2 , qu'au bout d'un certain temps.

Donc, deuxième condition d'exactitude :

Rester un certain temps à l'altitude choisie (dix à trente minutes), avant de commencer toute expérience.

De plus : Arthur Grollman et E.-K. Marshall (the American journal of physiology, août 1928) ayant trouvé qu'il faut respirer un certain temps dans un sac pour atteindre l'équilibre entre l'air alvéolaire et le contenu gazeux du sac (15 secondes avec 5 profondes inspirations pour un sac de 2 litres 4 d'air avec 4 % d'hydrogène), il s'ensuit une troisième condition :

3° Respirer par le masque et l'appareil pendant un certain temps, (3 à 5 minutes suivant les difficultés de notre position), avant toute observation.

A noter enfin que toute cause d'erreur, pouvant être causée par la descente et par la perméabilité du caoutchouc au CO^2 , était évitée par la précaution que

nous prenions de « *transvaser* », à l'altitude même de l'expérience, le contenu gazeux du ballon en caoutchouc dans une ampoule de verre fermant hermétiquement.

QUATRIÈME PARTIE

Nos observations et leur analyse

Nous avons effectué un assez grand nombre d'ascensions et pris chaque fois une observation.

Mais en raison de conditions matérielles souvent défectueuses, dues à la difficulté qu'il faut surmonter lorsque l'on veut expérimenter avec un appareil placé dans un avion ; — étant gêné, de plus, dans le maniement de cet appareil par la température très basse que l'on rencontre à l'altitude à laquelle ont eu lieu nos expériences ; — beaucoup de celles-ci ne nous ont pas paru présenter absolument les qualités d'exactitude rigoureuse que requièrent des observations scientifiques. Nous les avons donc éliminées complètement pour n'en retenir que quatre réalisées dans des conditions d'exactitude optima.

OBSERVATION I

Montée effectuée le 1^{er} juillet 1929

(Pilote : Adjudant-Chef VIGOUROUX)

Altitude atteinte : 5.100 mètres. — H = 401,1

Heure de début	15 heures
	(temps très nuageux)
Altitude	5.100 mètres
Temps mis pour atteindre cette altitude	50 minutes
Pression barométrique	401,1
Température extérieure	
au sol	+ 28°
à 5.100 m..	— 12°
Durée de l'expérience	10 minutes
Température air expiré (pendant l'ex- périence : thermomètre du flacon) ..	+ 9°
Débit respiratoire (spiromètre)	70 litres 70

Prise d'air expiré au bout des 10 minutes,
dans ballon caoutchouc, puis dans ballon en
verre.

Prise d'air normal dans ballon en verre.

RÉSULTATS DES ANALYSES : *

	Au laboratoire	{ H = 745,2. t = 22°
Air exhalé	{	CO ² = 1,13 O ² = 9,23
Air normal	{	O ² = 9,71 CO ² = 1,03

* A 0°, 760 de Hg et %,

$$\text{d'après la formule } V_0 = \frac{VH}{[1 + \frac{1}{273} T] H_0}$$

Au cours de cette ascension, nous eûmes à souffrir particulièrement du froid, dans l'obligation où nous nous trouvâmes de quitter et nos gants et notre casque, afin de mettre le masque : en 50 minutes, la différence de température fut de 40° ! Lorsque nous ouvrimmes les robinets des ballons en verre pleins d'eau distillée, celle-ci, dans le jaillissement au visage, se gela instantanément.

Pendant de longues minutes il nous fut absolument impossible de voir les appareils placés sous nos yeux, une buée intense causée par la respiration ayant brusquement obscurci le mica du masque.

A noter encore : une légère défaillance, l'expérience achevée et le masque ôté, suivie d'une sensation de grande lassitude — les explosions du moteur donnant l'impression de violents, crépitants et inquiétants coups de tonnerre — une sensation d'eau tiède dans les oreilles.

Pour notre pilote, seulement une sensation de pesanteur et d'assoupissement dont il accusa d'être la cause son parachute qu'il enleva.

A l'atterrissage, pendant quelques instants : état « étonné », fatigue légère avec céphalée et envie impérieuses d'uriner et... de fumer, marche titubante.

OBSERVATION II

Montée effectuée le 2 juillet 1929

(Pilote : Adjudant-Chef VIGOUROUX)

Altitude atteinte : 3.100 mètres. — $H = 516,6$

Heure de début	9 h. 20.
Altitude	3.100 mètres
Temps mis pour atteindre cette altitude	19 minutes
Pression barométrique	516,6
Température extérieure	
au sol	+ 23°
à 3.100 m..	+ 2°
Durée de l'expérience	10 minutes
Température air expiré (pendant l'expérience : thermomètre du flacon) ..	+ 16°
Débit respiratoire (spiromètre)	70 litres 8

Prise d'air expiré au bout des 10 minutes dans ballon caoutchouc, puis dans ballon en verre.

Prise d'air normal dans ballon en verre.

RÉSULTATS DES ANALYSES : *

Au laboratoire	H = 742,2.
	H = 744,2.
	t = 22°

Air exhalé	$O^2 = 8,26$	Air normal ; $CO^2 = 0,20$.
	$CO^2 = 1,73$	

* A 0°, 760 de Hg et %,

OBSERVATION III

Montée effectuée le 3 juillet 1929

(Pilote : Adjudant-Chef VIGOUROUX)

Altitude atteinte : 4.000 mètres. — H = 460,7

<i>Heure de début</i>	9 h. 50
<i>Altitude</i>	4.000 mètres
<i>Temps mis pour atteindre cette altitude</i>	35 minutes
<i>Pression barométrique</i>	460,7

Température extérieure

au sol + 30°

à 4.000 m.. + 5°

Durée de l'expérience

7 minutes

Température air expiré (pendant l'expérience : thermomètre du flacon) ..

+ 11°

Débit respiratoire (spiromètre)

62 litres 20

Prise d'air expiré au bout des 7 minutes
dans ballon caoutchouc, puis dans ballon en
verre.

Prise d'air normal dans ballon en verre.

RÉSULTATS DES ANALYSES : *

Au laboratoire { H = 741,70.
t = 24°5

Air exhalé {	CO ² = 1,54	Air normal : CO ² = 0.
	O ² = 7,97	

* A 0°, 760 de Hg et %,

OBSERVATION IV

Montée effectuée le 16 juillet 1929

(Pilote : Lieutenant MANSUY)

Altitude atteinte : 3.000 mètres. — H = 522,1

Heure de début 15 heures
(temps orageux)

Altitude 3.000 mètres

Temps mis pour atteindre cette altitude 25 minutes

Pression barométrique 522,1

Température extérieure

au sol + 34°

à 3.100 m.. + 9°5

Durée de l'expérience 6 minutes

*Température air expiré (pendant l'ex-
périence : thermomètre du flacon)* .. + 16°

Débit respiratoire (spiromètre) 36 litres 85

Prise d'air expiré au bout des 6 minutes
dans ballon caoutchouc, puis dans ballon en
verre.

Prise d'air normal dans ballon en verre.

RÉSULTATS DES ANALYSES : *

Au laboratoire $\left\{ \begin{array}{l} t = 25^{\circ}5 \\ H = 750,40. \end{array} \right.$

Air exhalé $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}^2 = 2,45 \\ \text{O}^2 = 8,45 \end{array} \right.$ *Air normal : CO² = 0.*

* A 0°, 760 de Hg et %,

Analyse des observations précédentes

Les données de nos observations peuvent se résumer dans le tableau suivant :

Altitude	O ²	CO ²
Au sol	3,25	17
A 3.000	2,45	8,45
A 3.100	1,73	8,26
A 4.000	1,54	7,97
A 5.100	1,13	9,23

D'après la loi de Mariotte $PV = P'V'$, et en prenant 760 ^{mm} de pression à 0° au niveau de la mer, le calcul donne, comme tension de l'oxygène à ces différentes altitudes :

Altitudes	Pression	Tension pour cent
3.000	522,1	14,09
3.100	516,6	13,9
4.000	460,7	12,43
5.100	401,1	10,82

Il en résulte que la quantité d'oxygène absorbée par l'organisme est de :

5,64	pour 100 à 3.000 mètres
5,64	— 3.100 —
4,46	— 4.000 —
1,59	— 5.100 —

d'où ;

I. — Les valeurs suivantes pour le quotient respiratoire, à ces mêmes altitudes :

$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$	=	0,81	au sol,
»	=	0,43	à 3.000,
»	=	0,30	à 3.100,
»	=	0,34	à 4.000,
»	=	0,71	à 5.100.

Le quotient respiratoire diminue donc avec l'accroissement de l'altitude pour reprendre, au-dessus de 5.000 mètres, une valeur sensiblement égale à celle qu'il avait au sol.

Il n'y a pas là contradiction dans les résultats obtenus : cette augmentation brusque du quotient respiratoire vient en effet de ce que les quantités du CO^2 et de O^2 absorbé, qui vont toutes deux en diminuant avec l'accroissement de l'altitude, diminuent inégalement, celle d'oxygène ayant une marche bien plus rapide. Le diviseur devenant de plus en plus petit par rap-

port au dividende, $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ s'accroît.

Ainsi, dans notre cas, cette augmentation du quotient respiratoire ne provient pas, comme l'avait pensé Tissot, de ce que « la ventilation pulmonaire, qui exerce une faible action sur l'oxygène, a beaucoup plus d'influence sur le CO^2 qui s'exhale et que l'on retrouve notablement augmenté, »

En outre, d'une part,

Pour le CO² exhalé :

Si les échanges respiratoires ne devaient subir aucune autre modification, avec la diminution de pression, que celle causée par la détente des gaz, on devrait avoir, pour le CO² expiré, en prenant 3,25/100 pour le CO² exhalé normalement au sol :

(A 0°, 760 mm. et %)

au sol	3,25			
à 3.000	2,19	au lieu de	2,45	= + 0,26
à 3.100	2,16	—	1,73	= — 0,43
à 4.000	1,93	—	1,54	= — 0,39
à 5.100	1,68	—	1,13	= — 0,55

Il y a donc bien :

II. — Diminution de la quantité absolue de gaz carbonique exhalé et cette diminution devient sans cesse de plus en plus grande.

D'autre part :

Pour l'oxygène exhalé :

On devrait avoir, dans les mêmes conditions, en prenant 17/100 comme normale, et à 0°, 760 :

au sol	17			
à 3.000	11,48	au lieu de	8,45	= — 3,03
3.100	11,36	—	8,26	= — 3,10
4.000	10,13	—	7,97	= — 2,16
5.100	8,82	—	9,23	= + 0,41

Il s'ensuit :

III. — Une diminution de la quantité d'oxygène expiré à mesure que l'on s'élève.

Cette diminution atteint son maximum vers 3.000, puis rétrocede pour devenir nulle entre 4.500 et 5.000 mètres, et faire place ensuite à une *augmentation de la quantité d'oxygène expiré au-dessus de 5.000 m.*

De ceci doit découler une marche semblable pour l'oxygène absorbé ; c'est ce que l'on trouve en effet.

A 0°, 760 et %, la quantité d'oxygène absorbé étant de 4 au sol, ses variations avec l'altitude devraient être les suivantes, dans les mêmes conditions que précédemment :

au sol	4			
à 3.000	2,61	au lieu de	5,64	= + 3,03
3,100	2,54	—	5,64	= + 3,10
4.000	2,30	—	4,46	= + 2,16
5.100	2	—	1,59	= — 0,41

Il y a donc bien, au début, augmentation de la quantité d'oxygène absorbé avec l'augmentation de l'altitude. L'organisme se défend ainsi contre la diminution de pression en utilisant une plus grande quantité de l'oxygène atmosphérique. Cet effort d'adaptation semble atteindre son maximum vers 3.000, 3.500 mètres pour faire place ensuite à un épuisement de plus en plus grand, marqué, au-dessus de 5.000, par une quantité d'O² absorbé inférieure à ce qu'elle devrait être normalement.

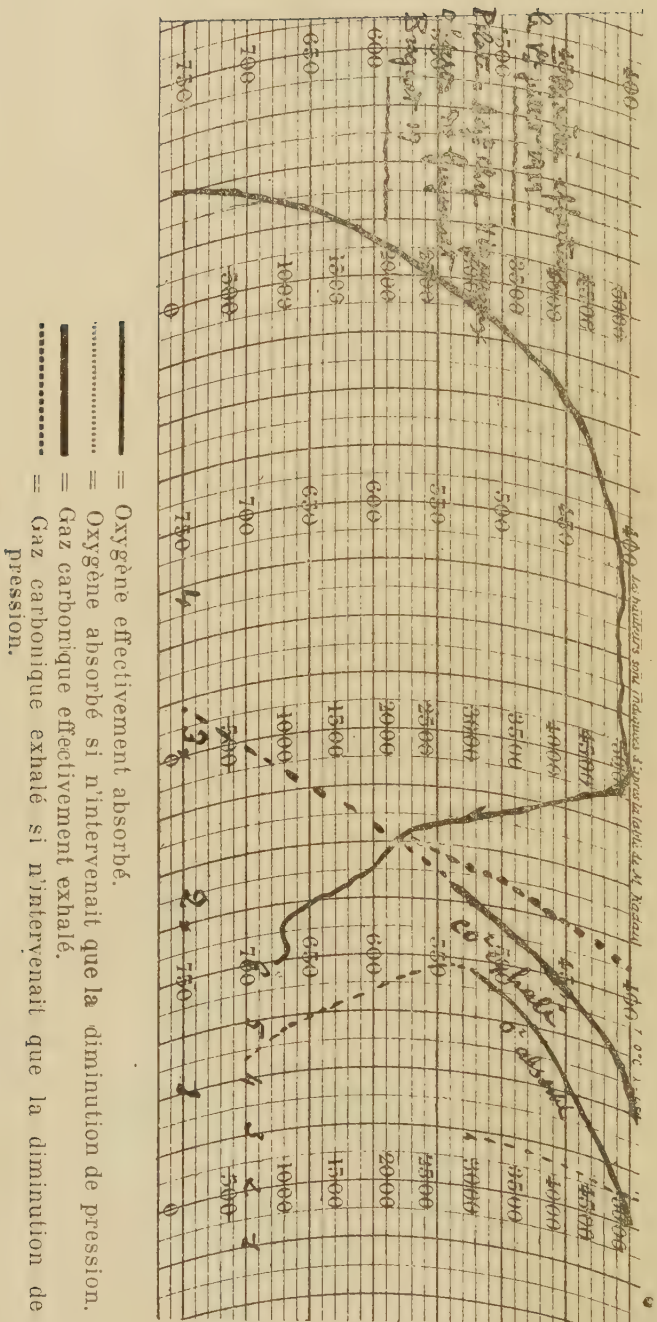
Ces résultats sont résumés dans le tableau et les graphiques des pages qui suivent.

Tableau resumant nos observations

Altitudes	H	* Oxygène dans l'air atmosphérique	* Variations O ² exhalé si n'intervenant que H	* Quantités de CO ² exhalé au cours de nos observations	* Quantités de O ² absorbé au cours de nos observations	* Variations O ² absorbé si n'intervenant que la diminution de H	Augmentation ou diminution O ² absorbé avec H
Au sol	760	21	17			4	
3 000	522.1	14.09	11.48	8.45	3.64 au lieu de 2.61	2.61	3.03
3 100	516.6	13.9	11.36	8.26	3.64	2.54	3.10
4 000	460.7	12.43	10.13	7.97	4.45	2.30	2.16
5 100	401.1	10.82	8.82	9.23	4.59	2	0.41
CO ²							
Altitudes	H	* CO ² dans un atmosphérique	* Variations CO ² exhalé si n'intervenant que H	* Quantités de CO ² exhalé au cours de nos observations	Quantités respiratoire		Diminution CO ² exhalé avec diminution de H
Au sol			3.25		0.81		
3 000			2.19	2.45	0.45		0.26
3 100		0.20	2.16	1.73	0.30		0.43
4 000			1.93	1.34	0.34		0.39
5 100		1.03	1.68	1.13	0.71		0.35

Giraphiques, sur la feuille de barographe, de notre ascension à 5.100 mètres, indiquant les variations quantitatives de l'oxygène absorbé et celles du gaz carbonique exhalé telles qu'elles apparaissent dans nos résultats.

En abscisses : les quantités d'oxygène absorbé et de gaz carbonique exhalé, à 0°, 760 m^m de Hg et %.



De ce qui précède et des expériences précitées d'Hallion et Tissot en ballon et en chambre de Pettenkoper installée au Laboratoire de l'Ecole Vétérinaire de Lyon, montrant qu'*au contraire* :

1° La proportion du gaz carbonique exhalé reste invariable jusqu'à 5.000 mètres, puis augmente si l'altitude croît ;

2° La décompression ne diminue pas la valeur du coefficient respiratoire du sujet au repos (l'intensité des échanges respiratoires reste sensiblement la même), —

il résulte que les échanges respiratoires semblent avoir une physiologie différente lorsqu'ils s'effectuent à de hautes altitudes et en avion.

CINQUIÈME PARTIE

Conséquences pratiques

Aux grandes altitudes, c'est-à-dire au-dessus de 5.000 mètres, les quantités du gaz carbonique exhalé et d'oxygène absorbé vont en diminuant. Il s'en suit que l'organisme manque d'oxygène et de gaz carbonique et, vraisemblablement, le sang est le plus touché par cette privation de combustibles. Là se trouve en partie la cause du mal des aviateurs.

Ces résultats nous permettent de penser que, si l'an-hémospasie — c'est-à-dire le défaut d'aspiration du sang dans les poumons par suite de l'affaiblissement de la pression dans les vaisseaux pulmonaires — peut expliquer les réactions d'origine mécanique, l'on ne peut pas rattacher les réactions d'ordre physio-pathologiques à l'une seulement des deux théories principales : anoxyhémie ou acapnie ; chacune a sa part de vérité, de responsabilité.

C'est d'ailleurs ce qu'a montré :

— d'une part Agazotti en respirant en mélange de 13 % de CO^2 pour 87 % d'oxygène, ce qui lui permit de subir, en caisson pneumatique, une pression de 122 mm. de Hg, correspondant à une altitude de 14.580

mètres, sans ressentir le moindre trouble et sans qu'il y ait une sensible modification des gaz du sang ;

— d'autre part, le capitaine Fonck, en s'élevant à 9.000 mètres sans grands malaises, à l'aide d'un appareil imaginé à la Section Technique de l'Aéronautique et qui lui permettait l'inhalation de ce même mélange.

Nos observations viennent confirmer l'efficacité de ces moyens de défense contre le Mal des Aviateurs.

D'après nos résultats nous pourrions même essayer de rechercher quel serait le mélange de CO^2 et d'oxygène, répondant le mieux aux besoins de l'organisme placé dans les conditions d'existence spéciales aux grandes altitudes.

Comme nous allons le voir, il serait composé de :

95,44 % d'oxygène.

pour :

4,56 % de gaz carbonique.

Vers 5.000 mètres, la quantité d'oxygène absorbé est de : 1,59 au lieu de 2,10, soit environ une différence de : 0,50.

Cette quantité d'oxygène qui manque à l'organisme pour 2,1 à 5.100 mètres, serait, au sol et pour 5 % d'oxygène absorbé normalement, de : 1,2.

— 1,2 d'oxygène, en plus des 21 % d'oxygène de l'air normal serait donc nécessaire à l'aviateur, soit donc au total 22,2 %.

De même pour le CO^2 , la quantité exhalée en moins, à 5.100, étant de : 0,55 pour 1,68, elle serait au sol, pour 3,25 %, de : 1,06.

Donc, une proportion de 22,2 d'oxygène pour 1,06

de gaz carbonique serait nécessaire à l'aviateur pour se trouver, vers 5.000 mètres, dans les mêmes conditions respiratoires qu'au sol ; ce qui peut encore se traduire pour 100 volumes, par :

95,44 % d'oxygène

pour :

4,56 % de gaz carbonique.

CONCLUSIONS

Les ascensions en avion, que nous avons faites entre 3.000 et 5.100 mètres, nous conduisent aux constatations suivantes relatives à l'influence des hautes altitudes sur les échanges respiratoires :

I. — Une diminution de la quantité de gaz carbonique exhalé, laquelle est progressivement croissante avec la diminution de pression.

II. — Des variations de la quantité absolue d'oxygène qui consistent en :

a) une absorption plus grande jusqu'aux environs de 4.500 mètres, avec maximum entre 3.000-3.500 mètres ;

b) une diminution de la quantité absolue d'oxygène absorbé, au-dessus de 5.000 mètres. Cette diminution est grande et rapide.

III. — Des variations du quotient respiratoire réel dont la valeur :

a) diminue jusque vers 3.000 mètres (variation causée par II, *a*) ;

b) reste constante entre 3.000 et 4.000 mètres ;

c) augmente entre 4.000 et 5.000 mètres. Cette augmentation est provoquée par la variation *b* de la quantité absolue d'oxygène absorbé ; car les quantités du gaz carbonique exhalé et de l'oxygène absorbé diminuant toutes deux, mais d'une allure inégale, la diminution de l'oxygène ayant une marche plus grande, le diviseur devient donc de plus en plus petit par rap-

port au CO², d'où l'accroissement du rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$

au-delà des 4.000 mètres.

IV. — Les résultats numériques précédents viennent donc confirmer les nouvelles méthodes de traitement préventif du Mal des Aviateurs par inhalation de mélange, en proportions convenables, d'oxygène et de gaz carbonique.

D'après nos observations, le mélange du gaz carbonique et d'oxygène qui pourrait maintenir dans les mêmes conditions respiratoires qu'au sol, l'aviateur s'élevant à une altitude d'environ 5.000 mètres, serait de :

95,44 % d'oxygène

pour

4,56 % de gaz carbonique.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

PIERY

Vu :

LE DOYEN,

JEAN LÉPINE

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 7 Novembre 1929

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,

Joseph GHEUSI

BIBLIOGRAPHIE

BAYEUX. — Le Mal des Aviateurs. (*Académie des Sciences*, 1919.)

BERGET. — L'Air. (Larousse.)

BERT P. — La Pression Barométrique. (Masson, édit., 1878.)

BEYNE J. — Quelques recherches sur la relation qui unit le débit respiratoire maximum et la pression atmosphérique. (*Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, n° 1, 1923.)

BEHAGUE, GARSAX ET RICHEL FILS. — Physiologie des altitudes. (*Arch. Internat de Phys.*, Juin 1928.)

BOYCOTTE ET HALDANE. — The Respiratory changes during anoxemia. (*J. of Physiol.*, 1908.)

CAMPBELL. — Recherches expérimentales sur l'anoxémie. (*J. of Physiol.*, 1923.)

CASTEX. — Le Mal des Aviateurs (*Thèse de Lyon*, 1921.)

CRUCHET ET MOULINIER. — Mal des Aviateurs. (Bailliére, édit., 1920.)

ELLIS. — La Respiration dans les différentes concentrations d'oxygène. (*American J. of Physiol.*, 1919.)

FERRY. — Le Vol en hauteur et le Mal des Aviateurs. (*Thèse de Nancy*, 1917, Bailliére.)

— Le Mal des Aviateurs et ses conséquences éloignées. (*Archives de Médecine et de Pharmacie Militaires*, 1^{er} juillet 1918.)

— L'influence du vol en avion sur la santé de l'aviateur. (Berger-Levrault, 1920.)

GESELL. — On the Chemical regulation of respiration. (*American J. of Physiol.*, 1923.)

GROLLMANN ARTHUR ET MARSHALL E.-K. — Le temps que l'on doit respirer dans un sac pour atteindre l'équilibre entre l'air alvéolaire et le contenu gazeux du sac. (*American Journ. of Physiol.*, 1928.)

GUILLEMARD ET MOOG. — Ventilation pulmonaire ; échanges gazeux au Mont-Blanc. (*Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 1907, p. 238.)

HALLION ET TISSOT. — Ascensions en ballon, 1901-1902.

HALDANE, KELLAS ET KERNAWAY. — First effects of Anoxemia. (*J. of Physiol.*, 1919.)

HASSEBACH ET LINDHARD. — Etudes sur l'anoxémie (*Bioch Zeit.*, 1915.)

HANSEN. — Les réactions de l'organisme dans l'anoxémie. (*J. American Méd. Assoc.*)

HOOKE. — Etudes sur les conditions physico-chimiques de la respiration.

KÖLLER. — Etudes sur l'anoxémie. (*J. of Biol. Chem.*, 1924.)

LÖEVENHART. — Anoxémie et mécanisme respiratoire. (*Arch. inter. méd.*, 1915.)

LUNDHART. — Régulation du centre respiratoire. (*J. of Physiol.*, 1911.)

MORAT J.-P. ET DOYON. — Traité de Physiologie (Masson et Cie, édit.)

MICHEL. — Le débit respiratoire dans les ascensions en avion et en montagne. (*Thèse Lyon*, 1921.)

MOSSE. — L'Acapnie, 1897.

OGIER J. — Traité de Chimie toxicologique. (Doin, Paris, édit.)

OTTAVI. — Sur le Mal des Aviateurs et sa thérapeutique. (*Thèse Paris*, 1926.)

PIÉRY. — Urée sanguine et ascension en avion. (*Lyon Méd.*, Juillet 1922.)

— Le débit respiratoire dans les ascensions en avion et en montagne.

PAILLIER. — Urée sanguine et ascension en avion. (*Thèse de Lyon*, 1921.)

SCHNEIDER, TRUEDELL ET CLARKE. — Respiratory Changes during and after period. of anoxemia. (*American J. of Physiol.*, 1924-25.)

SOUBIÈS. — Physiologie de l'aéronaute. (*Thèse de Paris*, 1907.)

VAN SLYCKE. — Changes in CO_2 and Ph. during anoxemia. (*J. of Biol. chem.*, 1921.)

VALLOT J. — Expériences sur la respiration au Mont-Blanc. (*Annales de l'Observatoire Météorologique du Mont-Blanc*, 1905.)

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	11
PREMIÈRE PARTIE	
Recherches antérieures sur le débit et les échan- ges respiratoires en fonction des variations de la pression atmosphérique	13
DEUXIÈME PARTIE	
Les variations atmosphériques avec l'accroisse- ment de l'altitude	17
TROISIÈME PARTIE	
Nos appareils et notre méthode d'observation.	23
QUATRIÈME PARTIE	
Nos observations et leur analyse.	29
Analyse des observations précédentes	35
CINQUIÈME PARTIE	
Conséquences pratiques	43
CONCLUSIONS	47
BIBLIOGRAPHIE	49
